

OPTIMASI WADUK JATIGEDE UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN AIR DAERAH IRIGASI RENTANG

Suseno Darsono^{1*}, Airlangga Marjono², Risdiana Ch. Afifah¹, Lilis Suryani¹

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro

²Kementrian Pekerjaan Umum

*E-mail: sdarsono@hotmail.com, No. Telepon 08158171956

INTISARI

Biaya pembangunan waduk umumnya sangat besar, maka waduk harus dioperasikan secara optimal dengan tingkat unjuk kerja yang tinggi. Tulisan ini membahas analisis tingkat keandalan dari unjuk kerja pola operasi Waduk Jatigede yang dianalisis dengan menggunakan debit bangkitan berdasarkan data debit Sungai Cimanuk hasil pencatatan debit harian di lokasi PLTA Eretan.

Perangkat lunak SAMS 2007 digunakan untuk menurunkan atau membangkitkan data debit sintetik 2 mingguan dengan menggunakan model PARMA. Pola operasi yang optimal diturunkan guna memenuhi kebutuhan air Daerah Irigasi Rentang seluas 90.000 Ha dan sebagai sumber air baku serta air minum untuk wilayah Kota Cirebon, Kabupaten Cirebon, Indramayu, dan Majalengka. Model optimasi program dinamik (*Dynamic Programming*) digunakan guna melakukan analisis pola operasi waduk dengan memanfaatkan perangkat lunak CSUDP. Tingkat keandalan dari pola operasi waduk dianalisis berdasarkan hasil simulasi neraca air dari pola operasi waduk yang optimal. Simulasi neraca air dari sistim Waduk Jatigede untuk memenuhi kebutuhan air Daerah Irigasi Rentang dan wilayah Kota Cirebon, Kabupaten Cirebon, Indramayu, dan Majalengka dilakukan dengan bantuan perangkat lunak RIBASIM.

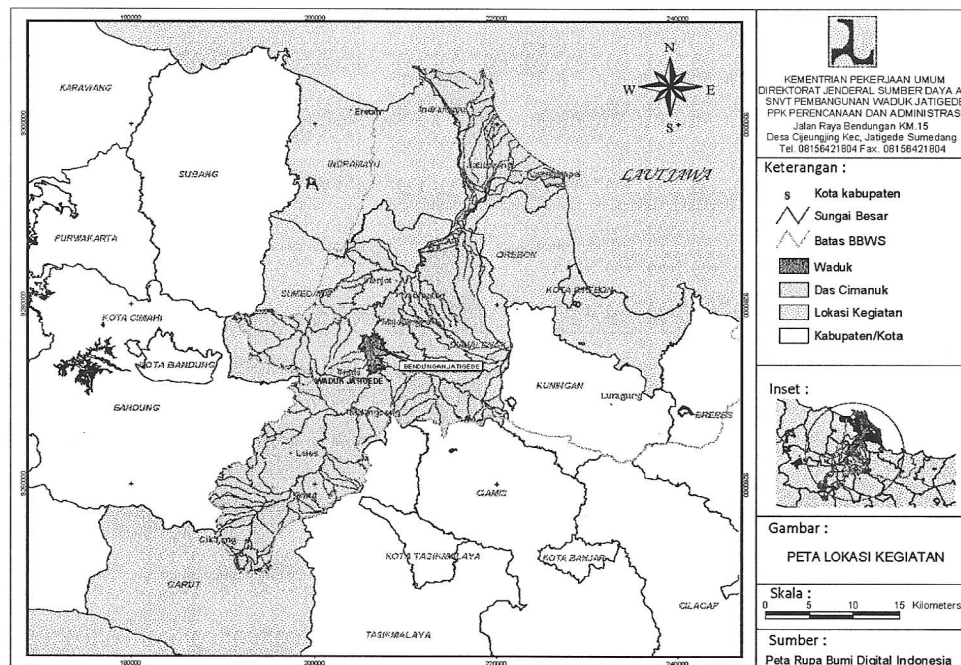
Pola operasi dari Waduk Jatigede hasil optimasi berupa *Rule Curve* digunakan sebagai panduan dalam mengoperasikan debit luaran dari waduk. Analisis simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *Rule Curve* dan debit bangkitan menunjukan unjuk kerja pola operasi waduk sangat tinggi. Sebagai kesimpulan dari studi ini volume air waduk masih dapat ditingkatkan pemanfaatannya (*demand*).

Kata Kunci :Optimasi Waduk, Keandalan Operasi, Model Stokastik Debit

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Waduk Jatigede terletak di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, merupakan waduk kedua terbesar di Indonesia dengan salah satu tujuan pembangunannya adalah untuk mengairi Daerah Irigasi Rentang seluas 90.000 Ha dan 3.5 m³/det sebagai sumber air baku serta air minum untuk wilayah Kota Cirebon, Kabupaten Cirebon, Indramayu, dan Majalengka.



Gambar 1. Lokasi kegiatan studi.

Saat ini fungsi utama dari Waduk Jatigede adalah sebagai penampung air untuk memenuhi kebutuhan air baku dan air irigasi serta berfungsi sebagai pengontrol banjir daerah hilir, oleh sebab itu waduk Jatigede dilengkapi dengan pintu di atas bangunan pelimpahnya.

Pedoman operasi dan pemeliharaan dari suatu waduk yang efektif perlu direncanakan, diimplementasikan, dan selalu dievaluasi pada suatu periode tertentu. Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengkaji derajat atau tingkat unjuk kerja dari pola operasi Waduk Jatigede, yang diturunkan dengan

menggunakan model optimasi dan simulasi dari beberapa seri data hasil model turunan stokastik inflow 2 mingguan Waduk Jatigede.

Data inflow waduk berasal dari pencatatan rata-rata harian aliran sungai Cimanuk di lokasi PLTA Eretan yang berada di hilir lokasi Waduk Jatigede. Model stokastik PARMA yang tersedia pada perangkat lunak SAMS 2007 dari *Colorado State University* digunakan untuk menurunkan berbagai seri data debit inflow sintetik dari Waduk Jatigede. Model optimasi *Colorado State University Dynamic Programming* (CSUDP) digunakan untuk menganalisis *Rule Curve* atau Kurva Pola Operasi Waduk yang dapat digunakan sebagai pedoman operasi waduk pada saat tahun basah, normal, dan kering. Analisis simulasi operasi digunakan untuk menentukan tingkat keandalan dari operasi waduk menggunakan perangkat lunak RIBASIM.

Sebelum dilakukan penurunan data debit 2 mingguan dengan model stokastik, data debit sungai 2 mingguan perlu diuji terlebih dahulu agar memenuhi syarat distribusi statistik normal sehingga hasil pemodelan yang dilakukan akan lebih valid. Jika hasil uji data inflow waduk tidak berdistribusi normal, maka seri data debit perlu dikonversikan dahulu atau harus dinormalkan sebelum digunakan untuk melakukan penurunan seri data debit sintetik 2 mingguan. Model SAMS 2007 digunakan untuk analisis data *time series* dan memprediksi/memperkirakan data debit sintetik untuk beberapa seri data, dengan memperhatikan kestasioneran data, fungsi autokorelasi, dan fungsi autokorelasi parsial. Model SAMS 2007 terdiri dari tiga langkah dasar, yaitu tahap identifikasi, tahap penaksiran dan pengujian, dan tahap penerapan (Makridakis, Wheelwright, dan McGee, 1999). Perangkat lunak SAMS 2007 mampu menganalisis model univariat dan multivariat dengan metode pemodelan ARMA, MA, PARMA, MAR, GAR, CARMA untuk penurunan data tahunan ataupun musiman.

Pada tahap perencanaan waduk, peraturan operasi (*operating rule*) biasanya telah direncanakan dan peraturan ini akan memberikan pedoman pengoperasian waduk untuk pelepasan/*release* guna memenuhi kebutuhan/*demands* rencana. Ribasim adalah suatu paket perangkat lunak untuk mensimulasi neraca air dalam suatu pengelolaan daya guna SDA Wilayah Sungai

untuk berbagai skenario kondisi hidrologi. Hasil simulasi operasi dengan RIBASIM dapat diketahui jumlah kegagalan operasi untuk setiap seri data inflow sintetik.

Hasil dari penelitian ini adalah tingkat keandalan dari operasi Waduk Jatigede, tetapi analisisnya belum melibatkan operasi PLTA yang sampai saat ini belum dilaksanakan pembangunannya. Tingkat keandalan merupakan fungsi dari volume reservoir, kebutuhan air yang dikeluarkan setiap periode operasi, oleh karena itu mempertahankan elevasi air waduk setinggi-tingginya akan menaikkan tingkat keandalan waduk.

1.2 Kajian Pustaka dan Landasan Teori

Beberapa pendekatan disarankan untuk memodelkan debit banjir yang mempunyai waktu interval kurang dari setahun (Salas, 1993; Hipel and McLeod, 1994). Berbagai Aliran sungai umumnya menunjukkan *periodical stationarity*, yaitu nilai rata-rata dan fungsi *covariance* menunjukkan nilai yang periodik terhadap waktu. Model *Periodic Autoregressive Moving Average* (PARMA) yang merupakan pengembangan model ARMA memungkinkan parameternya tergantung periode waktu seperti dua mingguan (Tsfaye, 2005).

Teknik optimasi sering dimanfaatkan untuk memecahkan permasalahan yang berkaitan dengan sumber daya air karena keterbatasan dana dan banyaknya faktor kendala yang memungkinkan kurang termanfaatkan sumber daya tersebut secara baik. Demikian juga halnya dalam permasalahan pengoperasian waduk, banyak sekali faktor yang mengurangi kinerja waduk sehingga kegunaan dari waduk menjadi tidak maksimal. Di sinilah peran dari teknik optimasi yang sangat vital dalam usaha untuk memperoleh hasil yang sebesar-besarnya dari pendayagunaan yang dilakukan. Hasil analisis teknik optimasi selanjutnya diwujudkan ke dalam kurva pola pengoperasian waduk, sehingga waduk akan menghasilkan keuntungan yang maksimal seperti yang diharapkan.

Yeh (1985) telah melakukan tinjauan terhadap berbagai teknik optimasi pada waduk, secara umum dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok yaitu :

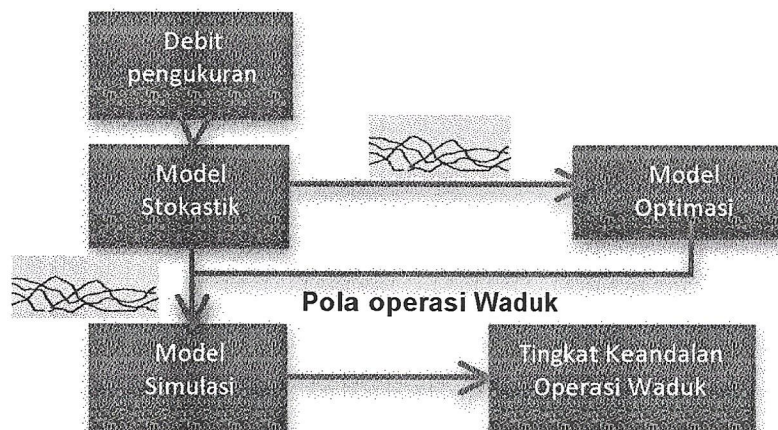
1. Program Linier (*Linear Programming*)
2. Program Non-Linier (*Non-Linear Programming*)
3. Program Dinamik (*Dynamic Programming*)
4. Model Simulasi

Diantara berbagai teknik tersebut tidak ada yang berlaku umum, yang dapat digunakan untuk semua keperluan optimasi operasi waduk. Pemilihan suatu optimasi tergantung pada karakteristik waduk yang ditinjau, ketersediaan data, sasaran, dan kendala yang dipakai.

Hashimoto et al. di tahun 1982 memperkenalkan tiga macam kriteria untuk mengevaluasi keandalan waduk adalah : derajat kemungkinan gagal CR (*reliability*) ditentukan berdasar frekuensi kegagalan, kecepatan pemulihan dari kegagalan CRS (*resiliency*), dan tingkat kerentanan (*vulnerability*) untuk mengukur panjang dari kegagalan (Fowler et al., 2003)

METODOLOGI STUDI

Metodologi dari studi ini dimaksudkan untuk memandu dalam memodelkan optimasi dan simulasi operasi Waduk Jatigede serta mengkaji derajat keandalan dari pola operasi yang dihasilkan. Gambar berikut ini merupakan diagram yang menggambarkan dan menjelaskan tahapan dari pelaksanaan penelitian serta menjelaskan pemanfaatan perangkat lunak sebagai alat bantu lengkap dengan teori dasar yang digunakan.



Gambar 2. Metodologi pelaksanaan penelitian derajat keandalan operasi

Berdasar diagram metodologi di atas, penelitian untuk menentukan derajat keandalan operasi Waduk Jatigede yang optimal diawali dengan pengumpulan data debit sungai Cimanuk dan data teknis dari Waduk Jatigede. Kajian pustaka dilakukan untuk mengkaji teknologi yang telah berkembang dan dimanfaatkan, seperti teori optimasi operasi waduk, penurunan data sintetik dengan teori stokastik, dan perhitungan keandalan pola operasi waduk.

Model optimasi dan simulasi operasi waduk memerlukan data debit masukan waduk yang merupakan variabel acak yang berasosiasi dengan waktu. Data debit sintetik sebagai masukan atau inflow waduk diturunkan menggunakan model stokastik untuk penurunan beberapa seri data sintetik, yang kemudian dimanfaatkan sebagai input pada analisis optimasi dan simulasi operasi waduk. Hasil yang didapat perlu dianalisis secara statistik untuk memastikan data sintetik yang hasil penurunan mempunyai karakter statistik sama dengan data debit hasil pengamatan. Jika seri data hasil pengamatan distribusi statistiknya bukan normal, maka distribusi dari seri data tersebut perlu ditransformasi menggunakan beberapa model transformasi berikut :

- Logarithmic $Y = \ln(X + a)$
- Gamma $Y = \text{Gamma}(X)$
- Power $Y = (X + a)^b$
- Box-Cox $Y = \frac{(X + a)^b - 1}{b}$, $b \neq 0$

Dimana Y adalah seri data hasil normalisasi, X adalah seri data awal (asli), a dan b adalah koefisien transformasi. Besarnya koefisien a dan b akan berubah pada setiap musim atau periode.

Model stokastik yang umum digunakan di bidang penurunan data debit adalah model stokastik AR (*autoregressive*), ARMA (*autoregressive and moving average*) dan PARMA (*autoregressive and moving average*). Model yang terpilih dan sesuai guna penurunan data debit masukan waduk yang merupakan data seri dengan periodik dua mingguan dari stasiun debit Eretan. Model AR order p, yang biasa ditulis AR(p) dipersentasikan oleh Salas di tahun 1993.

Model stokastik yang digunakan adalah model *Periodic ARMA* (PARMA) seperti yang disarankan pemodelan data periodik 2 mingguan. Formula dari model PARMA dapat diekspresikan dalam rumus berikut :

$$Y_{v,\tau} = \sum_{i=1}^p \phi_{i,\tau} Y_{v,\tau-i} + \epsilon_{v,\tau} - \sum_{j=1}^q \theta_{j,\tau} \epsilon_{v,\tau-j}$$

Dimana $Y_{v,\tau}$ merepresentasikan data debit untuk tahun v dan periode τ , proses ini dilakukan untuk data dengan distribusi normal yang mempunyai nilai rata-rata nol dan deviasi standar $\sigma_{2\tau}(Y)$ pada periode τ . $\epsilon_{v,\tau}$ adalah non-korelasi random untuk setiap periode dan dengan distribusi normal yang mempunyai nilai rata-rata nol dan deviasi standar $\sigma_{2\tau}(\epsilon)$. $\{\phi_{1,\tau}, \dots, \phi_{p,\tau}\}$ adalah parameter *periodic moving average*. Bila jumlah periodik adalah w , maka model akan memiliki w individu ARMA(p,q) model.

Dasar simulasi neraca air di waduk merupakan fungsi dari debit masukan, debit keluaran dan volume tampungan waduk yang dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$I - O = ds/dt$$

Dimana :

I = debit masukan

O = debit keluaran

ds/dt = ΔS adalah perubahan tampungan

secara lebih detail rumusan diatas dapat ditulis seperti berikut :

$$St+1 = St + It + Rt - Et - Ot - OSt$$

Dimana :

St = tampungan waduk pada periode t

$St+1$ = tampungan waduk pada periode $t+1$

It = debit masukan waduk pada periode t

Rt = hujan yang jatuh di atas permukaan waduk, pada periode t

Et = kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

Ot = total kebutuhan air

OSt = debit keluaran dari pelimpah

Untuk menganalisis unjuk kerja suatu waduk, muka air waduk disimulasikan dengan berbagai kondisi seri debit masukan (*inflow*) dan karakteristik waduk

sehingga didapatkan jumlah dan waktu kegagalan dari hasil pengoperasian (Hashimoto et al. , 1982; Fowler et al., 2003).

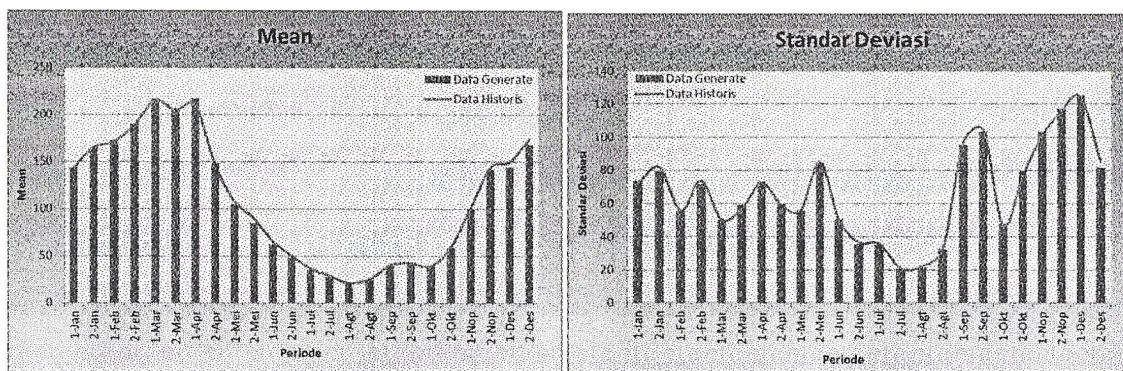
Berikut ini adalah indikator Hashimoto et al. (1982) untuk mengevaluasi unjuk kerja waduk di dalam memenuhi kebutuhan air yang ada. Keandalan atau unjuk kerja merupakan indikator seberapa sering waduk untuk memenuhi kebutuhan yang ditargetkan selama masa pengoperasiannya.

Pertama penentuan kriteria C yang unik untuk setiap waduk, dimana nilainya sama dengan 1 bila waduk tak dapat memenuhi kebutuhan. X_t adalah elevasi waduk hasil simulasi neraca air untuk periode T , bila X_t memenuhi kriteria maka hasilnya memuaskan S atau bila tidak memenuhi kriteria maka hasilnya tidak memuaskan U (Hashimoto et al. , 1982; Fowler et al., 2003).

Bila $X_t \geq C$ sehingga $X_t \in S$ dan $Z_t = 1$
 Selain itu $X_t \in U$ dan $Z_t = 0$

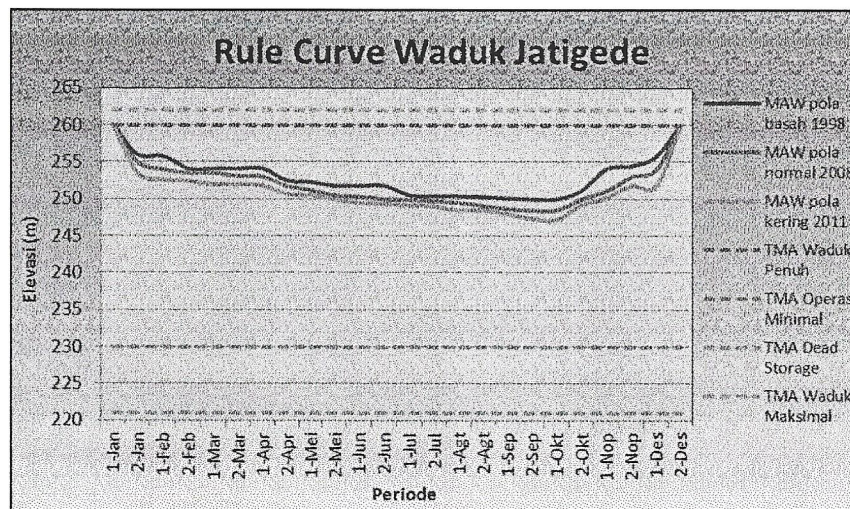
HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

Data debit sintetik periode 2 mingguan dari data pencatatan stasiun PLTA Eretan selama 15 tahun diturunkan dengan model PARMA sebanyak 50 seri data debit sintetik, kemudian dihitung nilai rata-rata dan standar deviasinya untuk setiap periode 2 mingguan. Hasilnya digambar sebagai grafik untuk membandingkan dengan nilai rata-rata dan standar deviasi dari data hasil pencatatan. Grafik perbandingan kedua parameter statistik data debit sintetik dan data hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Perbandingan nilai rata-rata dan standar deviasi.

Hasil analisis optimasi dengan model program dinamik adalah berupa pola operasi Waduk Jatigede berupa kurva pola operasi (*Rule Curve*) yang digambarkan pada gambar 4 berikut. Kebutuhan air irigasi yang ada di Bendung Rentang dan kebutuhan air bakunya dianalisis menggunakan perangkat lunak RIBASIM dengan input berupa data penduduk, data hidrometeorologi wilayah tersebut serta pola tanam yang telah ditentukan berdasar keputusan bupati setempat. Data karakteristik waduk, kebutuhan air dari waduk dan debit inflow waduk digunakan untuk analisis optimasi.



Gambar 4. Kurva pola operasi Waduk Jatigede

Keandalan dari pola operasi waduk diuji dengan analisis simulasi waduk yang menghasilkan jumlah kegagalan operasi sebanyak 0 kali selama operasi dengan menggunakan 50 seri data inflow sintetik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Optimasi waduk merupakan salah satu upaya untuk memelihara ketersediaan air di waduk guna mengoptimalkan suplai air ke daerah-daerah di hilir yang membutuhkan. Hasil dari optimasi waduk berupa *Rule Curve* yang dapat digunakan sebagai pedoman pengoperasian waduk pada saat tahun basah, normal, dan kering. Tingkat keandalan pola operasi Waduk Jatigede yang optimal

adalah 100 Persen. Hal ini dikarenakan tampungan waduk yang sangat besar dan *demand* yang kecil, sehingga ke depannya fungsi waduk dapat lebih dioptimalkan.

Jika PLTA Jatigede telah dibangun disarankan perlu dilakukan kajian serupa ini agar didapat pola operasi waduk yang optimal dan sesuai dengan pola operasi PLTA yang dirancang oleh PLN.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih pada Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung atas kesempatan dan data yang diberikan untuk melakukan kajian operasi Waduk Jatigede.

DAFTAR PUSTAKA

- Brandão, J. L. B., (2013). Reservoir Operation Applied to Hydropower Systems, Hydropower - Practice and Application, Edited by Dr. Hossein Samadi-Boroujeni. pp.185-200.
- Labadie, J. (1998). Reservoir system optimization models. Water Resources Update Journal, Issue 107, pp. (83-110)
- Labadie, J. (2004). Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 130, No. 2, pp. (93-111)
- Salas, J.D., (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series, In: Handbook of hydrology, D.R. Maidment, pp. (19.1-19.72), McGraw-Hill Inc., ISBN 0070397325, New York, USA.
- Tesfaye, Y. G., (2005). Seasonal Time Series Models and Their Application to the Modeling of River Flows, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Hydrology, University of Nevada, Reno.
- Fowler, H. J., C. G. Kilsby, and P. E. O'Connell (2003). Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource, Water Resour. Res., 39(8), 1222, doi:10.1029/2002WR001778.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., and Loucks, D. P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research, 18: 14-20.